Démonstration de l'effet Pockels dans un trajet conoscopique du faisceau lumineux

Objectifs expérimentaux

- Identification de l'axe optique du cristal biréfringent de la cellule de Pockels dans un trajet conoscopique du faisceau lumineux
- Démonstration de l'effet Pockels dans un trajet conoscopique du faisceau lumineux
- Mesure de la tension de demi-onde de la cellule de Pockels

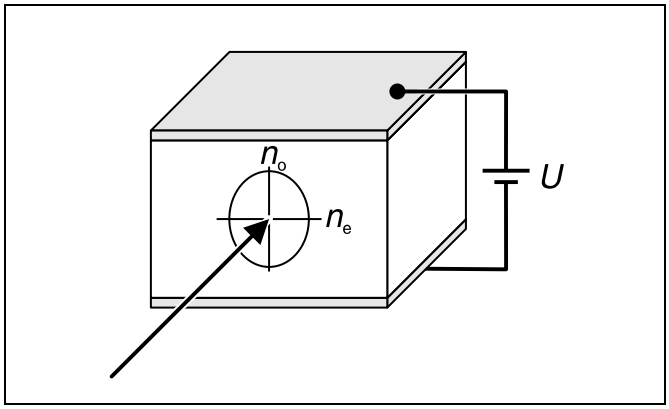
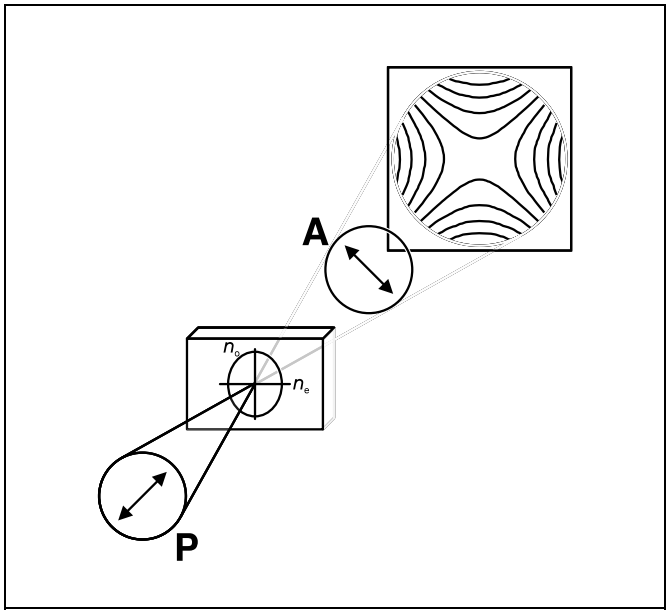


Fig. 1: Représentation schématique d'une cellule de Pockels en configuration transversale

Fig. 2: Schéma d'une marche du faisceau conoscopique pour la démonstration de la biréfringence



Principes de base

Effet Pockels

On appelle «effet Pockels» l'apparition d'une biréfringence ou le changement d'une biréfringence déjà existante dans un champ électrique, linéairement avec l'intensité du champ électrique. Il s'agit d'un phénomène qui ressemble à l'effet *Kerr,* la biréfringence augmentant néammoins quadratiquement avec l'intensité du champ électrique dans le cas de l'effet *Kerr*. Pour des raisons de symétrie, l'effet *Pockels* ne peut survenir qu'auprès de cristaux sans centre de symétrie, l'effet *Kerr* auprès de toutes les substances.

On parle d'une configuration transversale de la cellule de Pockels si la direction du faisceau lumineux et l'axe optique de la biréfringence sont perpendiculaires entre eux (voir fig. 1). Le champ électrique est appliqué en direction de l'axe optique. Pour des cellules de Pockels en configuration transversale, le cristal le plus souvent utilisé est un cristal de lithiumniobate ($LiNbO_3$).

Les cristaux de lithiumniobate sont optiquement uniaxes, à biréfringence négative avec les indices n_o = 2,29 pour le faisceau lumineux ordinaire et n_e = 2,20 pour le faisceau lumineux extraordinaire (mesuré pour la longueur d'onde du laser He-Ne λ = 632,8 nm).

Biréfringence dans un trajet conoscopique du faisceau lumineux

La mise en évidence de la biréfringence dans un trajet conoscopique du faisceau lumineux est proposée dans de nombreux manuels pédagogiques ayant trait à l'optique. On éclaire un cristal sectionné plan-parallèle par un faisceau lumineux divergent, polarisé linéairement et on observe la lumière qui le traverse derrière un analyseur croisé (voir fig. 2). L'axe optique de la biréfringence apparaît nettement dans la figure d'interférence vu qu'il se distingue de l'environnement par sa symétrie. Dans l'expérience, il est parallèle à la surface d'incidence et à la surface de sortie, la figure d'interférence comprend donc deux faisceaux d'hyperboles [19] tournés l'un contre l'autre de 90°. L'axe réel du premier faisceau d'hyperboles évolue parallèlement à l'axe, celui du deuxième faisceau, perpendiculairement à l'axe.

Matériel

1 cellule de Pockels	472 90
1 alimentation haute tension, 10 kV	521 70
1 laser He-Ne, à polarisation rectiligne	471 840
1 lentille dans monture, f = 5 mm	460 01
1 lentille dans monture, f = 50 mm	460 02
1 filtre polarisant de	472 40
1 banc d'optique à profil normalisé, 1 m	460 32
5 cavaliers d'optique, H = 60 mm, b = 36 mm	460 353
1 écran translucide	441 53
1 socle	300 11
1 câble de sécurité, rouge	500 641
1 câble de sécurité, bleu	500 642
1 câble de sécurité, 10 cm	500 604

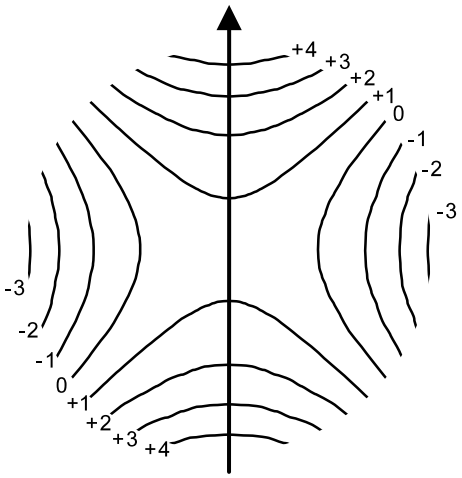


Fig. 3: Figure d'interférence dans la marche conoscopique du faisceau avec l'axe optique du cristal dans le sens de la flèche. Il est indiqué la différence de marche entre le sous-faisceau ordinaire et le sous-faisceau extraordinaire. C'est ainsi que, p. ex., les franges caractérisées par + 1 (– 1) ont la différence de marche Δ_{m+1} (Δ_{m-1})

Les franges sombres de la figure d'interférence sont le résultat de faisceaux lumineux pour lesquels la différence des chemins optiques du sous-faisceau extraordinaire et du sous-faisceau ordinaire dans le cristal est un multiple entier de la longueur d'onde. Ces faisceaux lumineux conservent leur polarisation linéaire initiale après leur passage à travers le cristal et sont anéantis par l'analyseur. Les faisceaux lumineux allant vers le centre de la figure d'interférence incident perpendiculairement à la surface du cristal. Pour ces faisceaux, la différence de marche entre le faisceau ordinaire et le faisceau extraordinaire s'élève à

$$\Delta = d \cdot (n_o - n_e), \qquad (I)$$

avec d = 20 mm pour l'épaisseur du cristal en direction du faisceau. La différence de marche correspond à environ 2800 longueurs d'ondes de la lumière laser utilisée. Du reste, Δ n'est en principe pas exactement un multiple entier de λ mais est bien plus souvent compris entre deux valeurs $\Delta_m = m \cdot \lambda$ et $\Delta_{m-1} = (m + 1) \cdot \lambda$. Il faut ensuite assigner les différences de marche Δ_{m+1}, Δ_{m+2}, Δ_{m+3}, etc. aux franges sombres du premier faisceau d'hyperboles et les différences de marche Δ_m, Δ_{m-1}, Δ_{m-2} au deuxième faisceau d'hyperboles (voir fig. 3). La position des franges sombres, plus exactement leur distance par rapport au centre, dépend de l'importance de la différence entre Δ et m.λ.

L'effet Pockels augmente ou réduit la différence entre les indices $n_o - n_e$ en fonction du signe de la tension appliquée. Il s'en suit un changement de la différence $\Delta - m \cdot \lambda$ et donc aussi de la position des franges d'interférence. Si la tension dite tension de demi-onde U_v est appliquée, Δ change d'une demie longueur d'onde. Les franges d'interférence sombres se déplacent vers les franges claires et vice-versa. Le processus se répète à chaque nouvelle augmentation de la tension de la valeur U_v.

Remarque de sécurité

Le laser He-Ne répond aux exigences techniques à satisfaire en matière de sécurité pour le matériel didactique et pédagogique «Laser: DIN 58126, 6ème partie» pour les lasers de la classe 2. Si les remarques correspondantes stipulées dans le mode d'emploi sont observées, l'expérimentation avec le laser He-Ne ne présente aucun danger.

- Ne pas fixer le regard sur le faisceau direct ou réfléchi.
- Eviter de dépasser la limite d'éblouissement (c.-à-d. qu'aucun observateur ne doit avoir l'impression d'être ébloui).

Montage

Remarques:

Réaliser les mesures dans une pièce obscurcie.
Ne pas enfoncer complètement les tiges des éléments optiques dans les cavaliers pour banc d'optique afin de permettre un ajustage en hauteur précis.

Le montage expérimental est représenté à la fig. 4, le positionnement du bord gauche des cavaliers est indiqué en cm.

Mise en place des composants optiques

– Monter le laser He-Ne, la lentille à distance focale de 5 mm **(a)** et celle à distance focale de 50 mm **(b)**; tourner prudemment le laser et la lentille à distance focale de 5 mm et les régler en hauteur jusqu'à obtention d'un éclairage optimal de la lentille à distance focale de 50 mm.
– Installer l'écran translucide à une distance appropriée; fixer du papier blanc sur l'écran.

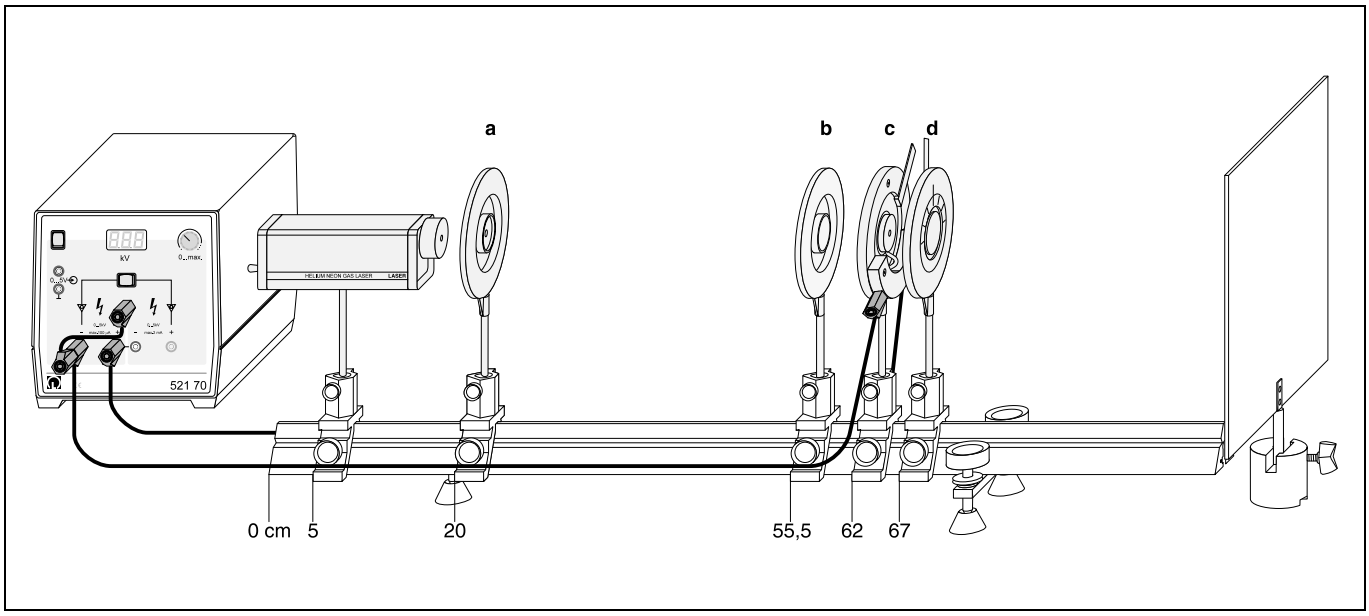


Fig. 4: Montage expérimental pour la démonstration de l'effet Pockels
(a) Lentille, f = 5 mm
(b) Lentille, f = 50 mm
(c) Cellule de Pockels
(position de l'index: ±45° par rapport à l'analyseur)
(d) Filtre polarisant comme analyseur
(position de l'index: ±90° par rapport à la direction de polarisation du laser)

- Monter le filtre polarisant comme analyseur et modifier la direction de polarisation jusqu'à ce que l'intensité sur l'écran soit minimale.
- Ajouter la cellule de Pockels et la pousser exactement à l'endroit où la section du faisceau est minimale; observer l'image sur l'écran et veiller à ce que les réflexions de la lumière sur les faces intérieures du cristal et sur le condensateur à plaques soient évitées dans la cellule de Pockels.
- Faire tourner l'index de la cellule de Pockels de + 45° ou – 45° par rapport à l'analyseur.

Ajustage de précision:

- Procéder à un ajustage en hauteur du laser, de la lentille à distance focale de 5 mm et éventuellement aussi de la cellule de Pockels jusqu'à ce que le centre des faisceaux d'hyperboles dans la figure d'interférence soit le plus possible au centre du champ visuel.
- Si besoin est, faire tourner la cellule de Pockels autour de l'axe de la tige.

Connexion électrique

- Brancher la cellule de Pockels à la sortie gauche (courant de court-circuit de max. 100 μA) de l'alimentation haute tension; relier la douille moins à la douille de mise à la terre.
- Tourner le potentiomètre de l'alimentation haute tension jusqu'à la butée gauche, mettre l'alimentation haute tension en route et activer la sortie gauche avec la touche de sélection.

Réalisation

a) Démonstration de la biréfringence

- Comparer la position du faisceau d'hyperboles dans la figure d'interférence avec la position de l'index de la cellule de Pockels.
- Déplacer lentement l'index de la cellule de Pockels et suivre le changement de la figure d'interférence.

b) Démonstration de l'effet Pockels:

- Ramener l'index de la cellule de Pockels à sa position initiale (+ 45° ou – 45° par rapport à l'analyseur).
- Lentement augmenter la tension *U* (jusqu'à max. 2 kV!) et suivre le changement de la figure d'interférence.
- Ramener la tension à 0 V, relier la douille plus de l'alimentation haute tension à la douille de mise à la terre et permuter les raccords sur la cellule de Pockels.
- A nouveau augmenter la tension *U* (jusqu'à max. 2 kV!) et suivre le changement de la figure d'interférence.

c) Détermination de la tension de demi-onde:

- Régler *U* = 0 V et tracez au crayon vert les franges sombres de la figure d'interférence sur la feuille de papier.
- Lentement augmenter la tension *U* et noter à chaque fois les valeurs pour lesquelles les franges d'interférence sombres et claires sont exactement sur les marques tracées.

Exemple de mesure et exploitation

a) Démonstration de la biréfringence:

A la rotation de la cellule de Pockels autour de l'axe du faisceau, la figure d'interférence est entraînée et tourne aussi. L'axe réel du premier faisceau d'hyperboles est alors toujours parallèle à l'axe optique du cristal (c.-à-d. la direction de l'index).

Le contraste clair-sombre est maximum lorsque l'angle entre l'axe optique et l'analyseur s'élève à ± 45°. Le champ visuel s'assombrit lorsque l'axe optique est parallèle ou perpendiculaire à l'analyseur.

b) Démonstration de l'effet Pockels:

En cas de choix approprié du signe de la tension, les franges d'interférence sombres du premier faisceau d'hyperboles (axe réel des hyperboles parallèle à l'axe optique du cristal) se rapprochent du centre avec une tension croissante alors que celles du deuxième faisceau d'hyperboles s'en éloignent.

Les deux hyperboles avec la différence de marche $\Delta_{m+1} = (m+1) - \lambda$ ont migré au centre pour une tension U_1 (voir fig. 5), le centre est donc sombre. Si la tension continue d'être augmentée, les deux hyperboles passent au deuxième faisceau hyperbolesoù elles augmentent continuellement. Pour une tension U_2, les deux hyperboles suivantes passent par le centre au deuxième faisceau d'hyperboles, pour une tension U_3, les hyperboles suivantes, etc ... L'écartement des tensions U_1, U_2 et U_3 correspond à la tension de demi-onde double (voir ci-après).

En cas de tension à polarité inversée, les hyperboles se déplacent dans l'autre sens. Suivant le signe de la tension, la différence entre les indices $n_o - n_e$ est donc augmentée ou réduite par l'effet Pockels.

c) Détermination de la tension de demi-onde:

Tab. 1: Résultat de mesure pour la détermination de la tension de demi-onde

$\frac{U}{\text{kV}}$	Luminosité sur l'écran translucide à l'endroit marqué
0,0	sombre
0,52	clair
1,01	sombre
1,52	clair
1,91	sombre

Pour les valeurs indiquées au tableau 1 pour la tension U, l'intensité passe de clair à sombre dans la figure d'interférence aux endroits marqués étant donné que la différence de marche entre le sous-faisceau ordinaire et le sous-faisceau extraordinaire varie d'une demi longueur d'onde. La différence entre ces tensions est la tension de demi-onde U_λ. Elle est donc d'env. 0,5 kV.

La variation de la biréfringence $\delta n_o - \delta n_e$ après l'application de la tension de demi-onde est très faible. L'équation (I) permet de calculer

$$\frac{\lambda}{2} = d \cdot (\delta n_o - \delta n_e), \qquad \text{(II)}$$

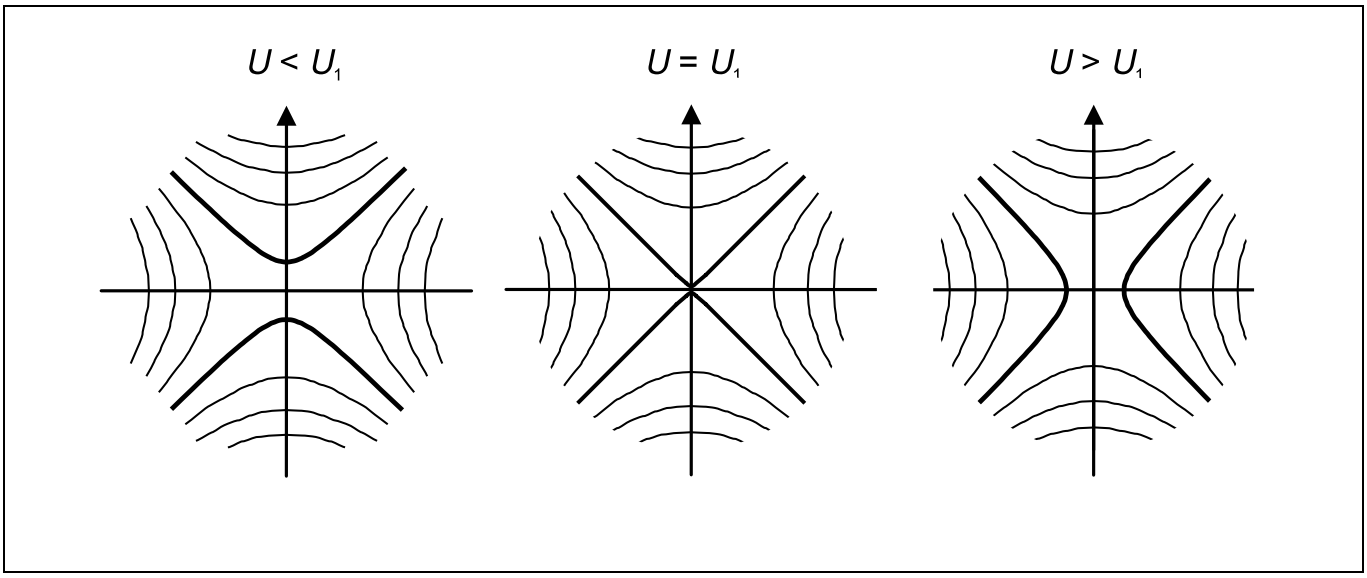
et on obtient

$\delta n_o - \delta n_e = 16 \cdot 10^{-6}$.

Bibliographie

[1] M. Born, Optik, Springer
ou
M. Born et E. Wolf, Principles of Optics, Pergamon Press

Fig. 5: Changement de la figure d'interférence par l'effet Pockels, les paraboles tracées par un trait plus épais sont respectivement les deux hyperboles de l'ordre d'interférence m + 1



© by Leybold Didactic GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
Technical alterations reserved